

СПОСОБ СОЗДАНИЯ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА И ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ибрагимов А.Р.

Руководитель – доцент, к.т.н. Ильинкова Т.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет им.

А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань,

ibragimovscript@mail.ru

Теплозащитные покрытия (ТЗП) используются уже более 25 лет. В настоящее время они есть практически на всех двигателях гражданской авиации и большей части военной. Данный тип покрытий используется и в газотурбинных приводах наземных энергетических установок, применяемые для перекачивания биоресурсов (газ, нефть). Теплозащитные покрытия позволяют улучшить качественные характеристики двигателей, уменьшить расход воздуха на охлаждение, сэкономить топливо, увеличить температуру газового потока на 100...150 К. Одновременно повышается ресурс и надежность деталей, работающих при высоких температурах, снижается выброс вредных веществ, что обусловлено более полным сгоранием горючего. Во всем мире разработке теплозащитных покрытий уделяется самое серьезное внимание. Об этом свидетельствует постоянно увеличивающийся поток научно-технической и патентной информации.

ТЗП должно быть одновременно жаростойким и теплозащитным (термобарьерным), т.е. способным значительно снижать температуру на поверхности детали и оказывать сопротивление высокотемпературной окислительной коррозии. В тоже время часто разрушения ТЗП происходит из-за того, что покрытия крошатся при плохом напылении, как следствие из-за низких адгезионно-когезионных связей в покрытиях, выводя всю установку газотурбинного двигателя (ГТД) из строя.

В качестве внешнего слоя ТЗП используется оксид циркония ZrO_2 , стабилизированный 6-8 % -м Y_2O_3 (6-8YSZ), который имеет низкую теплопроводность. ТЗП обычно наносят на подслои, представляющие собой жаростойкие никелевые сплавы: NiAl, (Ni, Pt)Al или MCrAlX (где M - Ni, Co, Fe; X-Y, Hf, Zr, Si). По структуре современные жаростойкие покрытия отличаются большим многообразием фаз, что очень усложняет методики их исследований.

В настоящее время исследования многослойных ТЗП (с внешним керамическим слоем) с позиции возможности контроля их качества, а особенно, как экспресс-метод, не имеет завершенную систему; работы в этой области имеют дискретный характер. Например, нам известны испытания зарубежных коллег на термоусталость ТЗП при 900 °С, что соответствуют эксплуатационным, однако не направлены на прогресс (как

при 1100 °С). По испытаниям на статический изгиб покрытий широкое применение имеет 3-х точечный изгиб, который дает значения только локальных точек, не учитывая систему керамического покрытия по всей длине исследуемого образца, что мы получаем при 4-х точечном изгибе, являющейся более информативным. Отсутствие комплексного подхода исследований качества ТЗП приводит к высоким затратам, связанным с ремонтными работами при разрушениях ТЗП.

Принцип диагностики и технологии определения качества ТЗП заключается: 1) вначале напыленные исследуемые «неизвестные» покрытия выдерживаются различное время при 1100 °С – для покрытий в сверх температурах, 2) затем исследуются на самом информативном методе - 4-х точечном изгибе прочностные, деформационные свойства этих многослойных систем покрытий, устанавливаются закономерности их поведения. Таким образом, мы получаем полную картину, устанавливаем универсальные корреляционные зависимости и, преобразовав результаты в модели через программные пакеты Ansys, SolidWorks, получаем конкурентоспособную, опережающую мировые аналоги технологию по определению качества системы покрытий и имеющегося ресурса эксплуатации. Исходя из этого, либо система покрытий отбраковывается, либо указываются допуски и критерии технологии напыления. Технология определения качества теплозащитных покрытий на установках газотурбинного двигателя, применяемых в нефтегазоперекачивании, будет предложена для коммерциализации в виде инжиниринговых услуг во время планово-ремонтных работ газотурбинных двигателей. Основная задача стоит: отработать технологию с установлением универсальных корреляционных закономерностей и на основе этого построить модель. Для достижения этого решаются нижеследующие задачи по установлению закономерностей в факторах, влияющих на долговечность покрытий: 1) различие между коэффициентами термического расширения (КТР) подслоя и основы; 2) изменение энергии межфазного взаимодействия (адгезии) между керамическим слоем, окисной пленкой, выросшей на подслое в процессе эксплуатации и подслоем; 3) наличие фазовых превращений в подслое и керамическом теплозащитном слое, возникающих при эксплуатации; 4) значение шероховатости подслоя; 5) процессы уплотнения (спекания) в керамическом слое, повышающие теплопроводность, жесткость керамики и снижающие трещиностойкость. Основное внимание при исследовании поведения керамического слоя в условиях высоких температур (при 1100 °С и более) необходимо уделить процессам спекания, так как теплозащитный слой представляет собой порошковое тело, частично спеченное при напылении, в котором спекание продолжается и при эксплуатации. Размеры, форма, ориентация пор относительно теплового потока играют принципиальное значение.

Совершенствование ТЗП происходит за счет разработки новых способов напыления, а также модификации известных технологий.

Наиболее известные сочетания вариантов нанесения керамики и подслоя - плазменное напыление обоих слоев; ионно-плазменное напыление подслоя и плазменное напыление на воздухе керамики; электронно-лучевое напыление обоих слоев; многослойное напыление комбинированными технологиями – алитирование, ионно-плазменное, плазменное и т.д. Однако очевидно, что для каждой конкретной детали газотурбинного двигателя, работающей в определенных условиях воздействия механических и температурных нагрузок, требуется создание своего сочетания этих слоев и выявление универсальных корреляционных зависимостей под модели. Поэтому подлежат исследованию процессы деградации ТЗП, их кинетика через оценку таких характеристик ТЗП, созданных комбинированными технологиями, как материалы теплозащитного слоя и жаростойкого подслоя, их толщины, адгезионная и когезионная прочность, в том числе в процессе температурного воздействия, модуль Юнга керамического слоя, от которого зависит теплопроводность и термостойкость и др. И данная ситуация до нашего решения усугублялось отсутствием технологии контроля качества композиционных керамических ТЗП, позволяющие получать информативные данные о свойствах покрытий (книга «Газотермические напыление», учеб. пособие под общей ред. Л.Х. Балдаева. – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с., в работах М. Beghini, L. Bertini и F. Frendo «Measurement of Coatings' Elastic Properties by Mechanical Methods: Part 1. Consideration on Experimental Errors; Part 2. Application to Thermal Barrier Coatings» и другие работы).

Разработка технологии спланировано способом исследования 2-х видов композиционных керамических покрытий ЦИО-7-10-50 и Z7Y-10-90 на нами ранее определенном лучшем виде подслое ПВ-НХ16Ю6, таким образом, по результатам НИР на основе сравнения систем покрытий получением универсальных корреляционных закономерностей под модель. Надо отметить, что порошки являются отечественные, конкурентоспособные мировым, применяющиеся на производстве КМПО. В России на сегодняшний день разработка конкурирующих технологии не ведутся в связи с высокой наукоемкостью и трудоемкостью создания начальной базы, которая у нас есть.